

Vorgehensmodell zur Entwicklung von Selbststeuerungsstrategien

Bernd Scholz-Reiter, Michael Görges, Thomas Jagalski und Steffen Sowade, Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter ist Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme am Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und Institutsleiter des Bremer Instituts für Produktion und Logistik GmbH (BIBA) sowie Herausgeber der Zeitschriften *Industrie Management* und *PRODUCTIVITY Management*.

Dipl.-Wi.-Ing. Michael Görges ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen.

Thomas Jagalski, M.Sc. (Economics and Management) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen.

Dipl.-Ing. Steffen Sowade ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen.

Die Selbststeuerung logistischer Prozesse bietet eine Möglichkeit, trotz steigender Komplexität in der Logistik und kurzfristigen, unvorhersehbaren Ereignissen den Anforderungen an eine flexible und effiziente Auftragsabwicklung gerecht zu werden [1]. Daher wird dieses Konzept in der Logistikforschung intensiv als ein zur zentralen Planung alternativer Ansatz für die Gestaltung dezentral organisierter Planungs- und Steuerungssysteme untersucht [2]. Die

Forschungsarbeit fokussiert u.a. auf die Entwicklung innovativer Selbststeuerungsstrategien und deren Anwendung mithilfe geeigneter Methoden und Instrumentarien. Auch wenn die Nutzenpotenziale unterschiedlicher Selbststeuerungsstrategien für ausgewählte Anwendungsszenarien der Produktionslogistik bereits in Simulationsstudien nachgewiesen wurden [3–6], fehlt bisher für den breiten Einsatz von Selbststeuerung ein systematisches Modell zum Vorgehen bei der Entwicklung von solchen Selbststeuerungsstrategien. In vorangegangenen Arbeiten wurde bereits ein Vorgehensmodell zur Erstellung von Fachkonzepten für selbststeuernde produktionslogistische Prozesse erarbeitet, das logistische Systeme aus einer Makro-Sicht heraus betrachtet [7]. Demgegenüber wird im Rahmen dieses Beitrags ein Vorgehensmodell vorgestellt, welches die Entwicklung von Selbststeuerungsstrategien für logistische Prozesse auf der Mikro-Ebene strukturiert und damit das bereits bestehende Vorgehensmodell für logistische Systeme mit selbstgesteuerten logistischen Prozessen ergänzt und konkretisiert.

in der Logistik [9] Anforderungen an Selbststeuerungsstrategien für logistische Prozesse erarbeitet, um daraus ein Vorgehensmodell für die Gestaltung von Selbststeuerungsstrategien in der Logistik zu entwickeln.

Definition Selbststeuerung

Im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ wurde der Begriff Selbststeuerung für logistische Systeme wie folgt definiert: „Selbststeuerung beschreibt Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen. Sie setzt voraus, dass interagierende Elemente in nicht-deterministischen Systemen die Fähigkeit und Möglichkeit zum autonomen Treffen von Entscheidungen besitzen. Ziel des Einsatzes von Selbststeuerung ist eine höhere Robustheit und positive Emergenz des Gesamtsystems durch eine verteilte, flexible Bewältigung von Dynamik und Komplexität.“ [8].

Kriterienkatalog für Selbststeuerung in der Logistik

Eine wesentliche Aufgabe bei der Entwicklung eines Vorgehensmodells für Selbststeuerungsstrategien stellt die Strukturierung und Abbildung der für deren Design und Implementierung wichtigen Einzelschritte dar. Dazu werden zunächst aus der Definition der Selbststeuerung [8] sowie dem Kriterienkatalog für Selbststeuerung

Der Kriterienkatalog zur Beschreibung von Selbststeuerung in der Logistik [9] liefert grundlegende Charakteristika für selbststeuernde Prozesse strukturiert nach Kriterien zur Entscheidungsfindung, zur Informationsverarbeitung sowie zur Entscheidungsausführung. Darüber hinaus bietet er jeweils eine Skalierung zur Ermittlung des Selbst-

Kontakt

Universität Bremen
Fachgebiet PSPS
Thomas Jagalski
Hochschulring 20
28359 Bremen
Tel.: 0421 / 218-5554
E-Mail: jag@biba.uni-bremen.de

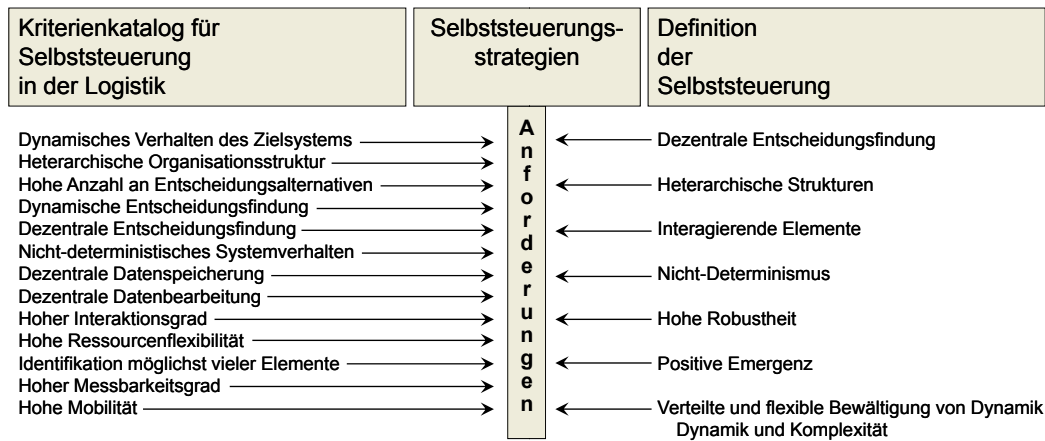


Bild 1: Selbststeuerung logistischer Systeme und Anforderungen an Selbststeuerungsstrategien.

steuerungsgrads. Er unterscheidet in die Entscheidungsfindungskriterien „Zeitverhalten des Zielsystems“ (von statisch bis dynamisch), „Organisationsstruktur“ (von hierarchisch bis heterarchisch), „Anzahl der Entscheidungsalternativen“ (von keine bis unbegrenzt viele), „Art der Entscheidungsfindung“ (von statisch bis lernend), „Ort der Entscheidungsfindung“ (von Systemebene bis Ebene des einzelnen Systemelements) und „Systemverhalten“ (von deterministisch bis nicht-deterministisch). Bei den Kriterien zur Informationsverarbeitung wird unterschieden in „Verortung der Datenspeicherung“ (von zentral bis dezentral), „Verortung der Datenbearbeitung“ (von zentral bis dezentral) und „Möglichkeit der Interaktion“ (von keine bis Koordination). Die Entscheidungsausführungskriterien werden schließlich untergliedert in „Ressourcenflexibilität“ (von nicht flexibel bis hoch flexibel), „Möglichkeit der Identifikation“ (von keine bis alle Elemente identifizierbar), „Messbarkeit“ (von keine bis selbst und andere) und „Mobilität“ (von nicht mobil bis hochgradig mobil).

Anforderungen an Selbststeuerungsstrategien

Sowohl aus der Definition der Selbststeuerung als auch aus dem Kriterienkatalog lassen sich Anforderungen ableiten, die eine Selbststeuerungsstrategie erfüllen muss. So müssen Selbststeuerungsstrategien einerseits den generellen Charakteristiken entsprechen, die sich aus der Definition der Selbststeuerungs-

logistischer Prozesse ergeben sowie diese durch Festlegung von Führungs-, Regel- und Stellgröße konkretisieren und operationalisieren. Hierbei müssen die Selbststeuerungsstrategien jeweils alle von einem logistischen Objekt nach eigenen lokalen Zielen durchgeführten Entscheidungsfindungen unter Beachtung der folgenden Anforderungen subsumieren:

- Die erste Anforderung an Selbststeuerungsstrategien ist demnach die autonome, dezentrale Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen, welche die exakte Vorhersagbarkeit des Systemverhaltens für längere Beobachtungsperioden verhindert (Nicht-Determinismus).
- Die zweite Anforderung findet sich in den Voraussetzungen: Selbststeuerungsstrategien müssen sicherstellen, dass die logistischen Objekte (Systemelementebene) miteinander interagieren und
- Drittens muss – und hier wird die Zielformulierung der Definition von Selbststeuerung zielgebend für Selbststeuerungsstrategien – eine Selbststeuerungsstrategie dem System zu einer im Vergleich zu konventioneller Steuerung erhöhten Robustheit und positiven Emergenz verhelfen und soll dies
- viertens durch eine verteilte und flexible Bewältigung von Dynamik und Komplexität erreichen.

Darüber hinaus können aus dem Kriterienkatalog weitere Anforderungen an Selbststeuerungsstrategien abgeleitet werden. Zwar muss dabei nicht jedes

einzelne Kriterium in seiner höchsten Ausprägung vorliegen, jedoch sollte die überwiegende Anzahl an Kriterien einem Höchstmaß der Definition von Selbststeuerung genügen, um einen hohen Selbststeuerungsgrad zu erreichen. Demzufolge sollten Selbststeuerungsstrategien über die bereits genannten Anforderungen hinaus zu einem dynamischen Zeitverhalten des Zielsystems führen, viele Entscheidungsalternativen berücksichtigen sowie die Datenspeicherung, -bearbeitung und die Entscheidungsfindung möglichst dezentral verorten. Bild 1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Selbststeuerung logistischer Systeme und den Anforderungen an Selbststeuerungsstrategien.

Zu beachten ist dabei, dass die beschriebenen Anforderungen unabhängig von der Art der Selbststeuerungsstrategie erfüllt sein müssen. Beispielsweise können Selbststeuerungsstrategien regelbasierte, adaptive oder selbstlernende Entscheidungsstrategien beinhalten, müssen den Anforderungen jedoch stets genügen. Dabei ist es unerheblich, über welches Ausmaß an Intelligenz die einzelnen Entscheidungsstrategien verfügen: gering bei den regelbasierten Strategien bis hoch bei den selbstlernenden Strategien.

Bedeutung von Vorgehensmodellen

Im Allgemeinen strukturieren Vorgehensmodelle die zu einer Lösungsfindung erforderlichen Teilschritte

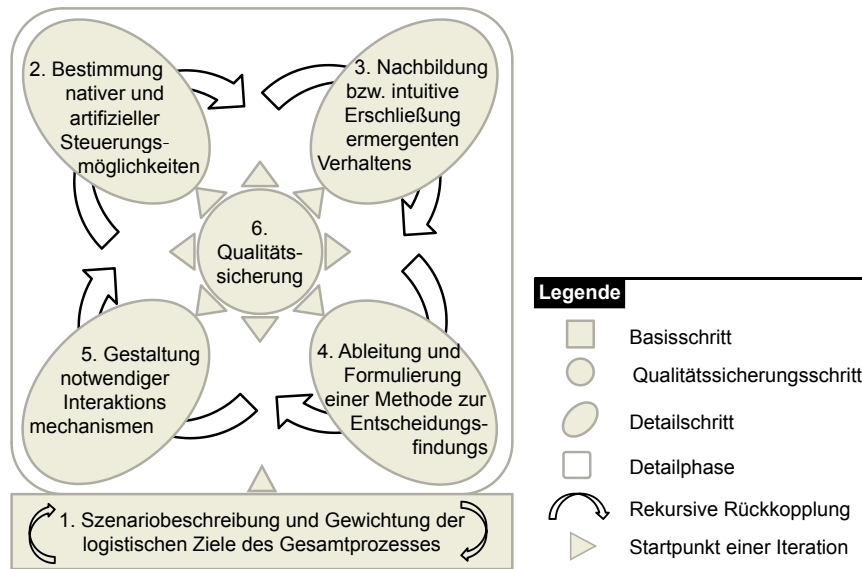


Bild 2: Vorgehensmodell zur Entwicklung von Selbststeuerungsstrategien.

hinsichtlich ihrer Inhalte, ihres Aufbaus und der bevorzugten logischen Abarbeitungsreihenfolge. Hierbei stellen Vorgehensmodelle die Lösungsfindung einerseits abstrakt dar, sind andererseits aber umso mächtiger, je stärker sie die Spezifika der jeweiligen Anwendungsdomäne berücksichtigen. Die Charakterisierung der Anwendungsdomäne und die Anpassung des Vorgehens daran bilden demzufolge die ersten logischen Schritte in der Entwicklung eines Vorgehensmodells. Sowohl zwischen als auch innerhalb verschiedener Domänen existiert daher eine Vielzahl unterschiedlicher Vorgehensmodelle. Die einzelnen Modelle verfügen jeweils über verschiedene Mechanismen zur Strukturierung, Detaillierung und Qualitätssicherung der Ergebnisse einzelner Schritte bzw. des Gesamtmodells [10].

Das Vorgehen wird generell in Schritte und in Phasen strukturiert, wobei letztere eine Menge an Schritten subsumieren und an ihrem Ende wichtige Teilergebnisse des gesamten Lösungsfindungsprozesses liefern. Die einzelnen Modelle unterscheiden sich in der Anzahl und den Inhalten der Schritte und Phasen. In einem Top-Down-Ansatz werden die Schritte und Phasen durch Mechanismen zur Bildung

von Unterschritten detailliert. Geläufig sind hierbei Rekursionsmechanismen, die auch mehrere verschiedene Schritte einschließen können. Demgegenüber werden beim Bottom-Up-Ansatz Teilschritte in Schritte höherer Ordnung abstrahiert [11]. Art und Umfang von Mechanismen zur Qualitätssicherung unterscheiden sich stark von Vorgehensmodell zu Vorgehensmodell. Die Spannweite reicht von keinen Mechanismen über die Definition von Ergebnis- und Prüftypen bis hin zu einzelnen Qualitätssicherungsschritten [12]. Für eine erfolgreiche Qualitätssicherung der Ergebnisse des strukturierten Problemlösungsprozesses muss auch ein Messsystem definiert werden, welches die Anforderungen an die Ergebnisse mit den erreichten Ergebnissen abgleichen kann. Ist die Qualität der Ergebnisse nicht hinreichend, können Iterationen einzelner Schritte und Phasen durchgeführt werden, um die erzielte Lösung zu verbessern, bis sie den Spezifikationen entspricht. In Fällen besonders geringer Erfüllung der Anforderungen kann auch eine Iteration zum Beginn des Problemlösungsprozesses erforderlich sein. Oftmals genügen Iterationen, die einen oder wenige Schritte zurückreichen [7]. Das wichtigste Basiselement bleibt aber

die Charakterisierung der Anwendungsdomäne des zu lösenden Problems, da hier auch konkrete Anforderungen an den Lösungsweg transparent und prüfbar beschrieben werden.

Anforderungen an ein Vorgehensmodell für Selbststeuerungsstrategien

Ein Vorgehensmodell, das bei der Strukturierung und Abbildung der für das Design und die Implementierung wichtigen Einzelschritte bei der Entwicklung einer Selbststeuerungsstrategie helfen soll, muss folgenden Ansprüchen genügen:

- Zum einen muss es sicherstellen, dass die zu entwickelnde Selbststeuerungsmethode das logistische System vom Ist-Zustand (ungeordnet, problembehaftet, nicht selbstgesteuert) zu einem Systemzustand führt, der der Definition von Selbststeuerung entspricht und somit die Kriterien, die an selbststeuernde Systeme zu stellen sind, erfüllt werden.
- Zudem muss durch das Vorgehensmodell gewährleistet werden, dass bei sachgemäßer Anwendung keine Strategien entwickelt werden können, die nicht alle Eigenschaften einer Selbststeuerungsstrategie besitzen.
- Schließlich muss das Vorgehensmodell die Möglichkeit schaffen, für ein beliebiges, gegebenes logistisches Anwendungsszenario eine Selbststeuerungsstrategie zu entwickeln.

Vorgehensmodell für Selbststeuerungsstrategien

Ein Vorgehensmodell für die Domäne des Entwurfs von Selbststeuerungsstrategien in der Logistik ist in Bild 2 dargestellt. Seine rotorartige Struktur spiegelt die Dynamik des Entwicklungsprozesses der zu adaptierenden und entwickelten Regeln für die Bewältigung der Komplexität und Dynamik logistischer Prozesse wider. Das Vorgehensmodell gliedert sich in einen Basisschritt, dargestellt am Fuß der Grafik, vier auf dieser Domänen-

Charakterisierung basierenden Detailierungsschritten und einem zentralen Qualitätssicherungsschritt. Innerhalb des Basisschritts wird die Anwendungsdomäne spezifiziert und über rekursive Rückkopplung solange konkretisiert, bis eine operationalisierbare Beschreibung des Anwendungsszenarios und der auf dieser Ebene angestrebten Zielpriorisierung erfolgt ist. Dieser Schritt ist für das Verständnis und die Formulierung der durch die Selbststeuerungsstrategie angestrebten Emergenz essentiell. Von diesem Punkt an verfolgt das Vorgehensmodell einen Top-Down-Ansatz, indem es in der Detailphase die vier Teilschritte zirkular um den zentralen Qualitätssicherungsschritt rotieren lässt. Basierend auf dem Szenario werden in einem zweiten Schritt dessen nativ vorhandenen Entscheidungspunkte nach Ort und Zeitpunkt bestimmt sowie Positionen für neue, artifizielle Entscheidungspunkte festgelegt. Im dritten Schritt werden mittels wissens- und kreativitätsbasierter Methoden bereits beobachtetes, emergentes Systemverhalten (beispielsweise in der Natur) auf das Szenario adaptiert bzw. neue Mikroregeln im Hinblick auf eine bestimmte Art von Zielemergenz intuitiv hergeleitet. Im darauffolgenden Schritt wird der Entscheidungsfindungsprozess hinsichtlich seiner Anwendung auf das Szenario weiter spezifiziert. Hierbei werden unter anderem Ort, Zeit, Art und Menge der einbezogenen Informationen und Systemelemente bestimmt und den zuvor bestimmten Entscheidungspunkten zugeordnet. Im fünften Teilschritt werden die erforderlichen Interaktionsmechanismen bis zu ihrer Operationalisierbarkeit im Szenario detailliert. Hierzu gehören auch streng formale Beschreibungen der Entscheidungsprozesse und der dazu notwendigen Interaktion logistischer Objekte untereinander sowie mit Elementen ihrer Umgebung.

Jeder der bisher vorgestellten vier Detailschritte kann seinen Erkenntnisgegenstand über rekursive Rückkopplungen detaillieren. Eine besondere Rolle kommt dem zentral positionierten Qualitätssicherungsschritt zu, da er

zwar keine Rekursion beinhaltet, aber mehrfach Startpunkt einer neuen Iteration zu den bisher vorgestellten vier Detailschritten liefert. Im Qualitätssicherungsschritt selbst wird anhand der domänenspezifischen Anforderungen geprüft, ob die entwickelte Methode allen für das Szenario bestimmten Anforderungen entspricht. Andernfalls wird über einen Startpunkt eine Iteration des Teilschritts angestoßen, der für die Nichtkonformität mit den Anforderungen verantwortlich gemacht wird. Von dem erneut durchlaufenen Detailschritt kann direkt wieder in den Qualitätssicherungsschritt übergegangen werden.

Fazit und Ausblick

Es wurde ein sechsstufiges Vorgehensmodell für Selbststeuerungsstrategien vorgestellt, welches zum Design von Selbststeuerungsstrategien für die Mikroebene logistischer Systeme einen wichtigen Beitrag leistet und die für deren Entwicklung notwendigen Einzelschritte strukturiert. Forschungsbedarf besteht bei der sukzessiven Überprüfung der bereits erarbeiteten Selbststeuerungsstrategien auf Konsistenz.

Literatur

- [1] Freitag, M., Scholz-Reiter, B., Herzog, O.: Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: *Industrie Management* 20 (2004) 1, S. 23-27.
- [2] Pfohl, H.-C., Wimmer, T. (Hrsg.): *Wissenschaft und Praxis im Dialog: Steuerung von Logistiksystemen - auf dem Weg zur Selbststeuerung*. Hamburg, 2006.
- [3] Armbruster, D., de Beer, C., Freitag, M., Jagalski, T., Ringhofer, C.: Autonomous control of production networks using a pheromone approach, *Physica A* 363 (2006) 1, S.104-114.
- [4] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., de Beer, C., Jagalski, T.: Modelling Dynamics of Autonomous Logistic Processes: Discrete-event versus Continuous Approaches. In: *Annals of the CIRP* 55 (2005) 1, S. 413-417.
- [5] Scholz-Reiter, B., Jagalski, T., Bendul, J.C.: Autonomous control of a shop floor based on bee's foraging behaviour. In: Haasis, H.-D., Kreowski, H.-J., Scholz-Reiter, B. (Hrsg.): *Dynamics in Logistics*. Berlin Heidelberg 2008, S. 415-423.
- [6] Scholz-Reiter, B., Görges, M., Jagalski, T., Naujok, L.: Modelling and analysis of an autonomous control method based on bacterial chemotaxis, *Proceedings of the 43rd CIRP International Conference on Manufacturing Systems*. Wien 2010, S. 699-706.
- [7] Kolditz, J.: Vorgehensmodell zur Erstellung von Fachkonzepten für selbststeuernde produktionslogistische Prozesse. In: Scholz-Reiter, B. (Hrsg.): *Informationstechnische Systeme und Organisation von Produktion und Logistik*. Berlin 2009
- [8] Hülsmann, M., Windt, K.: *Selbststeuerung - Entwicklung eines terminologischen Systems*. Bremen 2005.
- [9] Böse, F., Windt, K.: Catalogue of Criteria for Autonomous Control. In: Hülsmann, M., Windt, K. (Hrsg.): *Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics - The Impact on Management, Information and Communication and Material Flow*. Berlin 2007, S. 57-72.
- [10] Krallmann, H., Schönherr, M., Trier, M.: *Systemanalyse im Unternehmen - Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik*. München 2007.
- [11] Kneuper, R., Petrasch, R., Wiemers, M.: *Angepasste Vorgehensmodelle - 9. Workshop der Fachgruppe 5.11 der Gesellschaft für Informatik e.V.* Aachen 2002.
- [12] Das V-Modell XT. URL: <http://www.v-modell-xt.de/>. Abrufdatum 06.12.2010.

Schlüsselwörter:

Selbststeuerungsstrategien, Vorgehensmodell

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637, „Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an der Universität Bremen.

A Procedure Model for Autonomous Control Strategies

Logistics has seen the introduction of autonomous control strategies and their abilities - as far as performance and robustness are concerned - have been proven. This article presents a procedure model, which helps to guide the design process for autonomous control strategies in logistics.

Keywords:

autonomous control strategies, procedure model